

I-022 - DETERMINAÇÃO DAS CONSTANTES CINÉTICAS DE DECAIMENTO DO CLORO NOS SISTEMAS ADUTORES DE ÁGUA TRATADA DE UMA CIDADE DE MÉDIO PORTE

Erick dos Santos Leal ⁽¹⁾

Engenheiro Sanitarista e Ambiental pela Universidade Estadual da Paraíba (UEPB). Mestre em Engenharia Civil e Ambiental pela Universidade Federal de Campina Grande (UFCG). Doutorando em Eng. Ambiental na UEPB.

Rui de Oliveira

Engenheiro Civil pela Escola de Engenharia do Maranhão. Mestre em Engenharia Civil pela Universidade Federal da Paraíba. PhD em Engenharia Civil pela Universidade de Leeds. Professor Doutor da Universidade Estadual da Paraíba.

Celeide Maria Belmont Sabino Meira

Arquiteta, Engenheira Civil e Mestre em Engenharia Civil pela Universidade Federal da Paraíba. Doutora em Recursos Naturais pela Universidade Federal de Campina Grande. Professora Doutora da Universidade Estadual da Paraíba.

Clarissa Câmara de Freitas ⁽¹⁾

Engenheira Sanitarista e Ambiental pela Universidade Estadual da Paraíba (UEPB). Mestranda em Engenharia Civil e Ambiental pela Universidade Federal de Campina Grande (UFCG).

Cayo Farias Pereira ¹

Engenheiro sanitarista e ambiental pela Universidade Estadual da Paraíba. Mestre em engenharia civil e ambiental pela Universidade Federal de Campina Grande.

Endereço ⁽¹⁾: Rua João Batista Neves, 74-A – Santa Cruz – Campina Grande - PB - CEP: 58417-070 - Brasil - Tel: (83) 8817-8071 - e-mail: erickleal21@gmail.com

RESUMO

Para assegurar a qualidade sanitária da água para consumo humano a operação de desinfecção deve ser realizada de modo a manter um residual do agente desinfetante em todos os pontos da rede de distribuição. Porém, devido a complexidade das redes de distribuição a determinação da quantidade aplicada na ETA necessária para o atendimento mínimo da concentração residual do desinfetante, regulado pela Portaria 2914/11 do Ministério da Saúde, em toda a rede se torna de difícil determinação. Assim, o crescente uso de simuladores para verificar o comportamento do desinfetante no sistema de abastecimento com base em modelos hidráulicos e cinéticos por parte dos gestores dos sistemas se evidencia. O uso desses simuladores requer o conhecimento de parâmetros como as constantes de consumo do cloro, que apesar de ser admitido empiricamente, sofre variações ao longo da rede. Esta pesquisa objetivou a determinação e a calibração dos parâmetros cinéticos de degradação de cloro residual livre, úteis na modelagem da qualidade da água do sistema adutor de água tratada de Campina Grande-PB. Foi verificado que o coeficiente de reação no volume do escoamento e alterações operacionais diárias foram determinantes no consumo do cloro residual livre.

PALAVRAS-CHAVE: Cinética de cloro residual livre, Qualidade da Água, Modelagem do decaimento do cloro.

INTRODUÇÃO

A prevalência das doenças de veiculação hídrica indica a deficiência nos sistemas públicos de saneamento, especialmente no que se refere à qualidade da água distribuída (DANIEL, 2001).

A desinfecção é uma operação unitária fundamental no tratamento de água de abastecimento público, pois, pela destruição de microrganismos patogênicos, promove o controle de doenças de veiculação hídrica. O agente desinfetante mais universalmente utilizado é o cloro, o qual apresenta diversas vantagens, quando comparado a outros agentes, entre as quais a manutenção de um residual que serve como barreira contra uma

eventual recontaminação da água, principalmente devido a rupturas nas tubulações e manutenção inadequada dos equipamentos constituintes do sistema de abastecimento.

Porém, por ser uma substância não conservativa, com elevado potencial reativo, é rapidamente consumido e, na presença de matéria orgânica precursora, tem a possibilidade de formação de subprodutos prejudiciais à saúde (trihalometanos).

O consumo do cloro no sistema de abastecimento de água ocorre devido a elementos físicos e operacionais. Clark et al. (1995) citam como fatores que interferem no consumo do cloro a velocidade do escoamento, o tempo de residência da água, o diâmetro da tubulação e as reações (no volume do escoamento e na interface com a parede da tubulação). O consumo de cloro no volume do escoamento deve-se principalmente às reações com compostos (orgânicos e inorgânicos) dispersos na massa líquida transportada e as reações na parede ocorrem com o material da tubulação, com depósitos e com o biofilme (microrganismos aderidos à superfície interna das tubulações) (USEPA, 2002). A distância entre as estações de tratamento de água e os pontos de sua utilização pelos consumidores também afeta o consumo do cloro. Trimboli (2006) menciona que o consumo de cloro se deve também à contaminação durante reparos na rede de distribuição e ao elevado tempo de retenção da água nos sistemas de reservação. Assim, sistemas de distribuição de água mal projetados e inadequadamente operados e mantidos podem representar risco à saúde de toda a população, devido ao rápido consumo do residual de cloro.

Alguns operadores, na ausência de informações sobre o comportamento do cloro na rede, praticam a aplicação de concentrações elevadas de cloro nas estações de tratamento, visando manter o residual de cloro em toda a rede. Entretanto este procedimento pode acarretar diversos problemas como a possibilidade de produzir gosto, odor e produtos carcinogênicos (trihalometanos) (AZEVEDO NETTO & RICHTER, 1998).

A pesquisa teve como objetivo o estabelecimento dos parâmetros cinéticos de decaimento de cloro residual livre no sistema de adução, para serem utilizados para modelar a degradação da qualidade da água tratada num sistema de adução de água de abastecimento de médio porte, através de parâmetros que possibilitem a definição de estratégias operacionais.

O desenvolvimento desse trabalho contou com o apoio e a participação da Companhia de Água e Esgotos da Paraíba - CAGEPA.

MATERIAIS E MÉTODOS

A área de estudo é o sistema de adução de água tratada que faz parte do sistema de abastecimento de Campina Grande (7° 13' 50" Sul 35° 52' 52" Oeste), tipicamente, uma cidade de porte médio, com uma população de aproximadamente 400.000 habitantes, distante 120 km da capital do Estado da Paraíba, sede do município homônimo localizado no Agreste Paraibano.

O sistema é composto por um reservatório (R-0) localizado na ETA-Gravatá, sistema adutor de água tratada com três adutoras e dois reservatórios principais de distribuição (R-9 e R-5), conforme ilustrado na Figura 1.

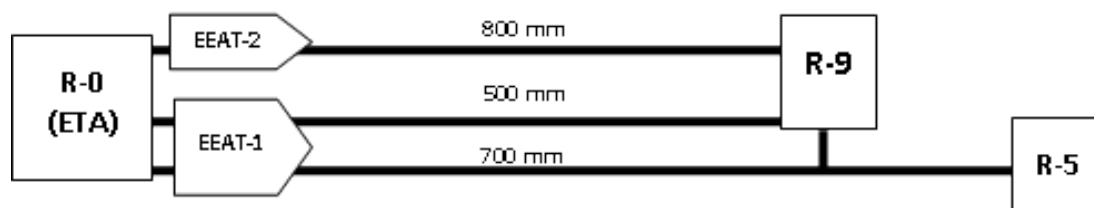


Figura 1- Esquema do sistema adutor de água tratada.

O trabalho foi desenvolvido compreendendo as etapas de obtenção de dados de qualidade na rede, levantamento de dados do sistema e a simulação computacional. Os dados hidráulicos e de qualidade foram utilizados para ajustar os parâmetros cinéticos de decaimento do cloro, através de simulações realizadas no

EPANET 2.0, conforme roteiro metodológico definido por Rossman (2000). Os parâmetros cinéticos do modelo de qualidade foram determinados por meio de análises laboratoriais e simulações computacionais.

A determinação das constantes iniciou com o monitoramento da qualidade da água dos indicadores sentinela (cloro residual e turbidez) e auxiliares (pH e temperatura) nos principais pontos do sistema de adução de água tratada, localizados nos reservatórios R-9, R-5, R-0 e em um ponto intermediário nas adutoras.

Os métodos analíticos utilizados para a determinação dos indicadores de qualidade da água seguiram os recomendados pelo *Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater* (APHA, AWWA, WPCF, 1999), conforme descrito por SILVA & OLIVEIRA (2001).

A determinação do coeficiente de decaimento do cloro residual livre no volume do escoamento (k_b) foi realizado por um procedimento laboratorial denominado de “teste da garrafa”. Por se tratar de um método sem roteiro de execução definido, houve adaptações aos procedimentos citados por diversos autores (VIEIRA et al., 2004; TRIMBOLI, 2005).

O coeficiente de decaimento no volume do escoamento (k_b) foi obtido pelo método gráfico descrito por Rossman (2000) e o coeficiente cinético de decaimento na parede (k_w) por tentativa e erro, pelo método dos mínimos quadrados. A calibração do modelo de qualidade utilizou o EPANET 2.0, que é um simulador gratuito desenvolvido pela EPA.

O critério de ajuste do parâmetro cinético k_w foi a redução do resíduo (diferença) entre os valores simulados e observados de cloro residual livre, até abaixo do teor mínimo de 0,2 mgCl₂/L, estabelecido pela Portaria (MS) 2.914/2011 (BRASIL, 2011). Para resíduos positivos, acima do teor mínimo de CRL, era realizado o ajuste do coeficiente de reação na parede (k_w) que, de acordo com Rossman (2000), pode assumir qualquer valor entre 0 e 1,5 m/dia.

RESULTADOS

Foram observadas, conforme Tabela 1, que na maioria dos pontos monitorados, concentrações de CRL em desacordo com o valor máximo recomendado de 2,0 mgCl₂/L, para a rede de distribuição, pela Portaria 2914/2011 do Ministério da Saúde (BRASIL, 2011). A exceção foi a extremidade final da adutora de DN800 mm, imediatamente antes do reservatório R-9, cuja concentração média foi de 1,52 mgCl₂/L. Na estação de tratamento foi observado, em mais de 30% das amostras, que o valor de CRL encontrava-se acima do VMP de 5,0 mgCl₂/L, estabelecido pela já referida Portaria, indicando que, logo ao sair da ETA, a água apresenta elevada frequência de inadequação para o consumo humano. Esses valores evidenciam a prática da supercloração, que pode ser atribuída à tentativa de manter um residual mínimo em todos os pontos da rede de distribuição.

Tabela 1 – Valores médios dos indicadores de qualidade para cada ponto amostrado.

PONTOS	pH	T (°C)	Turbidez (uT)	CRL (mgCl ₂ /L)	MONO (mgCl ₂ /L)	DI (mgCl ₂ /L)	TRI (mgCl ₂ /L)
P0-ETA	6,37	24,9	3,79	4,02	0,48	0,31	0,98
R9-AD500	6,72	24,5	2,26	2,71	0,47	0,43	0,92
R9-AD700	6,71	24,8	3,52	2,49	0,43	0,34	0,91
R9-AD800	6,63	24,6	4,76	1,52	0,42	0,38	0,83
R5	6,95	24,4	2,94	2,38	0,59	0,50	1,18

Nota: T (temperatura); CRL (cloro residual livre); MONO (monocloramina); DI (dicloramina); TRI (tricloramina)

A determinação do coeficiente k_b foi baseado no método gráfico sugerido por Rossman (2000) para um modelo de 1ª ordem, onde os valores dos coeficientes foram obtidos pela inclinação da reta do gráfico. Os valores obtidos ao longo do período de coleta estão apresentados na Tabela 2, com seu coeficiente de determinação (R^2). A adutora de DN 800 mm apresentou um desvio padrão menor entre os valores de k_b e de R^2 e a adutora de DN 500 mm os maiores valores.

Os maiores valores dos coeficientes foram encontrados no primeiro dia de análise, o que pode ser atribuído à necessidade de um período maior de descarga.

Tabela 2 - Valores do coeficiente de reação k_p (d-1).

		10/out	14/out	03/nov	01/dez	06/dez	16/dez	Média	Desvio padrão
AD500	k_b	6,91	3,60	3,46	4,46	2,02	2,16	3,8	1,80
	R^2	0,88	0,75	0,92	0,95	0,87	0,90	-	-
AD700	k_b	5,04	2,59	2,16	2,74	2,16	3,31	3,0	1,09
	R^2	0,70	0,87	0,89	0,98	0,94	0,98	-	-
AD800	k_b	2,88	2,59	2,74	2,74	2,30	1,87	2,5	0,37
	R^2	0,97	0,83	0,82	0,74	0,90	0,99	-	-

Após verificar o comportamento do modelo utilizando a média e os valores pontuais de k_b , foi observado um menor resíduo no dia 06/12. Assim, tomando como referência os valores desse dia, a Tabela 3 apresenta os valores obtidos após ajuste do coeficiente k_w por tentativa e erro, buscando a redução do resíduo entre o valor observado e o simulado. Foi verificado um valor de resíduo negativo para adutora de DN 500 mm, com isso, foi atribuído a ausência do consumo de cloro na parede.

Tabela 3 – Valores dos coeficientes cinéticos para o cenário C4.

	DN500	DN700	DN800
k_b (d-1)	2,02	2,16	2,3
k_w (m/dia)	0,0	0,125	0,6
V_{sim} (mgCl ₂ /l)	2,55	2,49	1,52
V_{obs} (mgCl ₂ /l)	2,71	2,49	1,52
Resíduo(mgCl ₂ /l)	-0,16	0,00	0,00

CONCLUSÕES

Os resultados do levantamento dos dados de qualidade revelaram que apesar da ocorrência da supercloração, devido à grande extensão da rede e a inexistência de pontos de re-cloração no sistema. Também foi observada a ocorrência de decaimento, ao longo das adutoras, em mais da metade do cloro, que pode estar relacionado à operação das mesmas, cuja paralisação contribui para o consumo de cloro.

Em relação aos coeficientes cinéticos foi verificada a predominância dos coeficientes de reação no volume do escoamento, além de uma forte relação das alterações no comportamento operacional do sistema com consumo do cloro. Os resultados demonstraram que a ausência de um procedimento definido para determinação dos coeficientes cinéticos provoca incertezas no modelo, necessitando o desenvolvimento de outro modelo que seja mais adequado às variações do sistema.



REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. APHA, AWWA, WPCF. Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater. 20th ed., Washington, D.C: American Public Health Association/American Water Works Association/Water Environment Federation, 1999. 1220p.
2. AZEVEDO NETO, J. M.; RICHTER, C. Tratamento de água. São Paulo: Edgard Blucher, 1998.
3. BRASIL.(2011). Ministério da Saúde. Portaria N° 2.914, de 12 de dezembro de 2011. Dispõe sobre os procedimentos de controle e de vigilância da qualidade da água para consumo humano e seu padrão de potabilidade. Diário Oficial da União, Brasília, DF. 14 dez.
4. DANIEL, L. A. Processos de Desinfecção e Desinfetantes Alternativos na Produção de Água Potável. Prosab: São Carlos, 2001.
5. ROSSMAN, L. A.(2000) EPANET 2 users manual. U.S. Environmental Protection Agency, Cincinnati, Ohio.
6. SILVA, S.A.; OLIVEIRA, R.(2001), Manual de análises físico-químicas de águas de abastecimento e residuárias. Campina Grande: O Autor. 266p.
7. TRIMBOLI, M.J. (2006). Aplicação e análise de um modelo de qualidade de água para a determinação da concentração de cloro residual livre em um setor de abastecimento de água. 153p. Dissertação (Mestrado). Faculdade de Eng. Civil, Arquitetura e Urbanismo, UNICAMP. Campinas.
8. VIEIRA P.; COELHO S.T., LOUREIRO D. Accounting for the influence of initial chlorine concentration, TOC, iron and temperature when modeling chlorine decay in water supply. Journal of Water Supply Research and Technology, v.53, n.7,p.453-467, Nov, 2004.